



CFO 15824 US/sei
Appn. No. 09/460,743
Group-2824
Filed 09-24-26

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office

出願年月日

Date of Application:

2001年 3月28日

出願番号

Application Number:

特願2001-092388

出願人

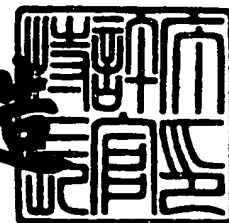
Applicant(s):

キヤノン株式会社

2001年10月19日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3092020

【書類名】 特許願

【整理番号】 4402175

【提出日】 平成13年 3月28日

【あて先】 特許庁長官 及川 耕造 殿

【国際特許分類】 G11C 11/02
G11C 11/14

【発明の名称】 磁性膜の磁化反転方法およびそれを用いた磁気メモリ

【請求項の数】 19

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社
内

【氏名】 池田 貴司

【特許出願人】

【識別番号】 000001007

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号

【氏名又は名称】 キヤノン株式会社

【代表者】 御手洗 富士夫

【電話番号】 03-3758-2111

【代理人】

【識別番号】 100090538

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社
内

【弁理士】

【氏名又は名称】 西山 恵三

【電話番号】 03-3758-2111

【選任した代理人】

【識別番号】 100096965

【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会
社内

【弁理士】

【氏名又は名称】 内尾 裕一

【電話番号】 03-3758-2111

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011224

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9908388

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 磁性膜の磁化反転方法およびそれを用いた磁気メモリ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 磁化容易軸が膜面垂直方向である磁性膜の磁化反転方法において、印加する磁界の方向と前記磁化容易軸のなす角度が 0rad よりも大きく $\pi/2\text{rad}$ よりも小さいことを特徴とする磁化反転方法。

【請求項 2】 磁化容易軸が膜面垂直方向である磁性膜の磁化反転方法において、印加する磁界の方向が前記磁化容易軸に対して 0rad 乃至 $\pi/2\text{rad}$ の範囲内で小さくなる方向に角度を変化させながら磁界を印加することを特徴とする磁化反転方法。

【請求項 3】 前記印加磁界が複数の方向の磁界による合成磁界であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の磁化反転方法。

【請求項 4】 前記複数の磁界が膜面垂直方向に印加する磁界と膜面垂直方向から傾いた方向に印加する磁界であることを特徴とする請求項 3 に記載の磁化反転方法。

【請求項 5】 前記膜面垂直方向から傾いた方向が膜面内方向であることを特徴とする請求項 4 に記載の磁化反転方法。

【請求項 6】 前記磁化反転させる際に、膜面垂直方向の磁界と、膜面垂直方向から傾いた方向の磁界を印加した後に、膜面垂直方向から傾いた方向の磁界印加を止めた後、膜面垂直方向への磁界印加を止めることを特徴とする請求項 4 または 5 に記載の磁化反転方法。

【請求項 7】 前記膜面垂直方向から傾いた方向へ印加する磁界が導線を通る電流によってつくられる磁界であることを特徴とする請求項 4 に記載の磁化反転方法。

【請求項 8】 前記膜面垂直方向へ印加する磁界が導線を通る電流によってつくられる磁界であることを特徴とする請求項 4 に記載の磁化反転方法。

【請求項 9】 磁化容易軸が膜面垂直方向である磁性膜に複数の方向からの磁界を印加する磁化反転方法において、該印加磁界は膜面垂直方向に対して傾いた方向から印加する第 1 の磁界と、該第 1 の磁界に比べて膜面垂直方向に対して

なす角度が大きい第2の磁界であって、前記第1の磁界の大きさに対して、前記第2の磁界の大きさが徐々に小さくなるように各磁界の大きさを調整することを特徴とする磁化反転方法。

【請求項10】 前記磁性膜が膜面の上下方向に配置されている複数の磁性膜であることを特徴とする請求項1から9のいずれか1項に記載の磁化反転方法。

【請求項11】 前記磁性膜が垂直磁化膜と膜面垂直方向から傾いた方向に磁化容易軸を有する磁性体が交換結合していることを特徴とする請求項10に記載の磁化反転方法。

【請求項12】 膜面垂直方向から傾いた方向に磁化容易軸を有する磁性体が面内磁化膜であることを特徴とする請求項11に記載の磁化反転方法。

【請求項13】 前記磁性膜が磁気抵抗効果膜であることを特徴とする請求項1から12のいずれか1項に記載の磁化反転方法。

【請求項14】 前記磁気抵抗効果膜がスピン依存トンネル効果膜であることを特徴とする請求項13に記載の磁化反転方法。

【請求項15】 複数の磁性膜を有する磁性多層膜において、
磁化反転磁界の異なる磁性膜を少なくとも1つずつ有し、少なくとも1つの磁性膜は膜面垂直方向の磁界印加のみによって磁化反転し、さらに少なくとも1つの磁性膜は、膜面垂直方向から傾いた方向の磁界と膜面垂直方向の磁界を印加することによって磁化反転することを特徴とする磁性多層膜。

【請求項16】 前記膜面垂直方向から傾いた方向の磁界が、膜面内方向の磁界であることを特徴とする請求項15に記載の磁性多層膜。

【請求項17】 請求項1～14に記載の磁化反転方法を用いて、磁性層の磁化反転を行ない、磁化の方向によって情報を記録することを特徴とする磁気メモリ。

【請求項18】 請求項15または16に記載の磁性多層膜をメモリ素子としたことを特徴とする磁気メモリ。

【請求項19】 磁気抵抗効果膜を用いたメモリ素子を複数個配し、該メモリ素子の任意の素子について記録あるいは読み出しを行う際に、選択するメモリ

素子に対して膜面垂直方向に磁界を印加すると共に、膜面内方向に磁界を印加し、前記膜面垂直方向の磁界と膜面内方向への磁界の強度及び強度比を変化させて、それらによる合成磁界を変化させながら前記メモリ素子の磁化方向を変化させて情報の記録再生を行うことを特徴とする磁気メモリ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は磁性膜の磁化方向を反転させる方法および磁性多層膜及びそれらを用いた磁気メモリに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

近年、固体メモリである半導体メモリは情報機器に多く用いられ、DRAM、FeRAM、フラッシュEEPROM等その種類も様々である。これら半導体メモリの特性は一長一短であり、現在の情報機器において要求されるスペックのすべてを満たすメモリが存在しない。例えば、DRAMは記録密度が高く書き換え可能回数も多いが、揮発性であり電源を切ると情報は消えてしまう。また、フラッシュEEPROMは不揮発であるが消去の時間が長く、情報の高速処理には不向きである。

【0003】

上記のような半導体メモリの現状に対して、磁気抵抗効果を用いたメモリ(MRAM)は、記録時間、読み出し時間、記録密度、書き換え可能回数、消費電力等において多くの情報機器から求められるスペックをすべて満たすメモリとして有望である。特にスピン依存トンネル磁気抵抗(TMR)効果を利用したMRAMは、大きな読み出し信号が得られることから、高記録密度化あるいは高速読み出しに有利であり、近年の研究報告においてMRAMとしての実現性が実証されている。

【0004】

MRAMの素子として用いられる磁気抵抗効果膜の基本構成は、非磁性層を介して磁性層が隣接して形成されたサンドイッチ構造である。非磁性膜として良く用いられる材料としてCu等の導電体や Al_2O_3 等の絶縁体が挙げられる。磁気抵抗効果膜において非磁性層にCu等の導体を用いたものを巨大磁気抵抗効果膜(GMR膜)

といい、 Al_2O_3 などの絶縁体を用いたものをスピン依存トンネル効果膜（TMR膜）という。TMR膜はGMR膜に比べて大きな磁気抵抗効果を示すのでMRAMのメモリ素子として好ましい。

【0005】

図1（a）に示すように二つの磁性層の磁化方向が平行であると磁気抵抗効果膜の電気抵抗は比較的小さく、図1（b）に示すように磁化方向が反平行であると電気抵抗は比較的大きくなる。したがって、一方の磁性層を記録層、他方を読み出し層とし、上記の性質を利用することで情報の読み出しが可能である。例えば非磁性層33の下部に位置する磁性層34を記録層、上部に位置する磁性層31を読み出し層とし、記録層の磁化方向が右向きの場合を『1』、左向きの場合を『0』とする。図2（a）に示すように両磁性層の磁化方向が右向きの場合、磁気抵抗効果膜の電気抵抗は比較的小さく、図2（b）に示すように読み出し層の磁化方向が左向きでかつ記録層の磁化方向が右向きであると電気抵抗は比較的大きい。また、図2（c）に示すように読み出し層の磁化方向が右向きでかつ記録層の磁化方向が左向きであると電気抵抗は比較的大きく、図2（d）に示すように両磁性層の磁化方向が左向きの場合電気抵抗は比較的小さい。つまり、読み出し層の磁化方向が右向きに固定されている場合に、電気抵抗が大きければ、記録層には『0』が記録されていることになり、電気抵抗が小さければ、『1』が記録されていることになる。あるいは、読み出し層の磁化方向が左向きに固定されている場合に、電気抵抗が大きければ、記録層には『1』が記録されていることになり、電気抵抗が小さければ、『0』が記録されていることになる。

【0006】

MRAMの記録密度を高くするために、素子サイズを小さくしていくと、面内磁化膜を使用したMRAMは反磁界あるいは端面の磁化のカーリングといった影響から、情報を保持できなくなるという問題が生じる。この問題を回避するためには、例えば磁性層の形状を長方形にすることが挙げられるが、この方法では素子サイズが小さくできないために記録密度の向上があまり期待されない。そこで、例えば特開平11-213650で述べられているように垂直磁化膜を用いることにより上記問題を回避しようとする提案がなされている。この方法では素子サイズが小さくな

っても反磁界は増加しないので、面内磁化膜を用いたMRAMよりも小さなサイズの磁気抵抗効果膜が実現可能である。

【0007】

垂直磁気異方性を示す磁性体として遷移金属－貴金属系の合金や多層膜、CoCr合金あるいは希土類－遷移金属系の合金や多層膜が挙げられる。

【0008】

面内磁化膜を用いた磁気抵抗効果膜と同様に、二つの磁性層の磁化方向が平行であると磁気抵抗効果膜の電気抵抗は比較的小さく、磁化方向が反平行であると電気抵抗は比較的大きくなる。非磁性層33の下部に位置する磁性層34を記録層、上部に位置する磁性層31を読み出し層とし、記録層の磁化方向が上向きの場合を『1』、下向きの場合を『0』とする。図3（a）に示すように両磁性層の磁化方向が上向きの場合、磁気抵抗効果膜の電気抵抗は比較的小さく、図3（b）に示すように読み出し層の磁化方向が下向きでかつ記録層の磁化方向が上向きであると電気抵抗は比較的大きくなる。したがって、『1』が記録された状態で読み出し層の磁化方向が上向きとなるように磁界を印加した後、さらに読み出し層の磁化方向が下向きとなるように磁界を印加すると、磁気抵抗効果膜の電気抵抗は大きくなるように変化し、この変化から『1』を読み出すことが可能である。ただし、読み出しのときに印加する磁界は記録層の磁化方向が変化しないような大きさである。また、図3（c）に示すように読み出し層の磁化方向が上向きでかつ記録層の磁化方向が下向きであると電気抵抗は比較的大きくなり、図3（d）に示すように両磁性層の磁化方向が下向きの場合電気抵抗は比較的小さくなる。したがって、『0』が記録されているときには、読み出しの操作を行うと電気抵抗が小さくなるように変化するので『0』を読み出すことが可能である。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

現在一般に用いられている垂直磁気異方性を有する磁性膜としては、Gd、Dy、Tb等の希土類金属から選ばれる少なくとも1種類の元素とCo、Fe、Ni等の遷移金属から選ばれる少なくとも1種類の元素の合金膜や人工格子膜、Co/Pt等遷移金属と貴金属の人工格子膜、CoCr等の膜面垂直方向の結晶磁気異方性を有する合金

膜が主として挙げられる。垂直磁気異方性を有する磁性膜の磁化反転磁界は、一般に遷移金属による面内磁気異方性を有する磁性膜のそれよりも大きく、例えば面内磁気異方性を有するパーマロイの磁化反転磁界が数百A/m程度であるのに対し、垂直磁気異方性を有するCo/Pt人工格子膜では数十kA/m程度と著しく大きい。希土類金属と遷移金属の合金膜は、希土類金属の副格子磁化と遷移金属の副格子磁化が反平行に向くため、膜組成によって見かけ上の磁化の大きさが異なる。したがってその磁化反転磁界は組成により異なる。GdFe合金膜は、希土類金属と遷移金属の合金膜の中でも比較的磁化反転磁界は小さいが、磁化曲線の角型比が1から小さくなり始める臨界組成付近で通常数千A/m程度の磁化反転磁界を有する。

【0 0 1 0】

垂直磁気異方性を有する磁性膜を用いた磁気抵抗効果膜でメモリ素子等を構成した場合、上記の理由から大きな磁界を印加しなければ動作しない。したがって、大きな磁界を発生させる工夫が必要になる。メモリに印加する磁界は一般的に導線に電流を流し発生させるが、導線に大きな電流を流すことは熱設計上あるいは電源容量の点で好ましくない。

【0 0 1 1】

また加えて、磁性膜が多層構造になっており交換結合,あるいは静磁結合している場合には磁性層どうしが互いに影響を及ぼしあい磁化反転磁界が大きくなる傾向にある。

【0 0 1 2】

【課題を解決するための手段】

本発明は、上記課題に鑑み、磁化反転磁界の大きな垂直磁化膜を用いた場合、及び多層膜で磁氣的に結合していて磁化反転磁界の大きな磁性膜に対しても小さな印加磁界で磁化反転することが可能になるような、磁化反転方法及びそれを用いた磁気メモリを提供することを目的とする。

【0 0 1 3】

そして上記目的は、磁化容易軸が膜面垂直方向である磁性膜の磁化反転方法において、印加する磁界の方向と前記磁化容易軸のなす角度が0radよりも大きく π

/2radよりも小さいことを特徴とする磁化反転方法において達成される。

【0014】

また、磁化容易軸が膜面垂直方向である磁性膜の磁化反転方法において、印加する磁界の方向が前記磁化容易軸に対して0rad乃至 $\pi/2$ radの範囲内で小さくなる方向に角度を変化させながら磁界を印加することを特徴とする磁化反転方法において達成される。

【0015】

また、磁化容易軸が膜面垂直方向である磁性膜に複数の方向からの磁界を印加する磁化反転方法において、該印加磁界は膜面垂直方向に対して傾いた方向から印加する第1の磁界と、該第1の磁界に比べて膜面垂直方向に対してなす角度が大きい第2の磁界であって、前記第1の磁界の大きさに対して、前記第2の磁界の大きさが徐々に小さくなるように各磁界の大きさを調整することを特徴とする磁化反転方法においても達成される。

【0016】

また、複数の磁性膜を有する磁性多層膜において、磁化反転磁界の異なる磁性膜を少なくとも1つずつ有し、少なくとも1つの磁性膜は膜面垂直方向の磁界印加のみによって磁化反転し、さらに少なくとも1つの磁性膜は、膜面垂直方向から傾いた方向の磁界と膜面垂直方向の磁界を印加することによって磁化反転することを特徴とする磁性多層膜。

【0017】

また、磁気抵抗効果膜を用いたメモリ素子を複数個配し、該メモリ素子の任意の素子について記録あるいは読み出しを行う際に、選択するメモリ素子に対して膜面垂直方向に磁界を印加すると共に、膜面内方向に磁界を印加し、前記膜面垂直方向の磁界と膜面内方向への磁界の強度及び強度比を変化させて、それらによる合成磁界を変化させながら前記メモリ素子の磁化方向を変化させて情報の記録再生を行うことを特徴とする磁気メモリによって達成される。

【0018】

詳細は実施の形態において述べる。

【0019】

【発明の実施の形態】

図4に本発明の磁化反転方法を説明するための概念図を示す。ここで磁性膜は膜面垂直方向に磁化容易軸を有している。このような磁性膜に対して本発明は、磁化容易軸から傾いた方向から磁界を印加する。

【0020】

図5に本発明の磁化反転方法の一例を示す。図5に記載の磁性膜31は垂直磁気異方性を有するもので単層膜である。磁界の印加は膜面垂直方向41と膜面内方向42の二方向に印加する。それぞれの磁界の大きさを調整、即ち各々の強度あるいは強度比を様々に変化させることによって、その合成磁界は磁性膜に対して、膜面法線方向を含む面内で任意の方向に印加可能である。すなわち、磁化容易軸である膜面垂直方向に対して $0 \sim \pi/2$ 傾いている方向から磁界を印加することが可能となる。ここで磁化反転機構に関しては、面内磁化膜が磁化反転時においてスピンの回転が支配的であるのに対して、垂直磁化膜に関しては磁化の一斉反転が支配的であるために、垂直磁化膜においては磁化容易軸から傾けて印加しても面内磁化膜ほどに磁化飽和磁界が大きくなるという現象は起こらない。

【0021】

今、磁性膜の磁化方向は上向きに向いているとし、膜面内方向に一定の大きさの磁界を印加する。その後、膜面垂直方向の磁界は磁化方向に対して反平行すなわち下向きに印加する。膜面垂直方向の磁界の大きさを零から徐々に大きくしていくと、その合成磁界は、膜面垂直方向に対して、 $\pi/2$ から徐々に変化していき、あるところで磁化は反転し始める。さらに膜面垂直方向の磁界を大きくしていき磁化が飽和に達したところで、徐々に磁界の大きさを小さくしていく。次いで膜面垂直方向の印加磁界を反転させ、再び磁界の大きさを大きくしていく。このようにして得られた磁化曲線を図6に示す。破線で示したものは上記のように膜面内方向に磁界を印加しつつ測定した磁化曲線で、実線で示したものは膜面内方向に磁界を印加することなく測定した磁化曲線である。この図からわかるように膜面内方向に磁界を印加しながら垂直方向に磁界を印加、すなわち印加磁界（この場合においては、膜面垂直方向の磁界と膜面内方向の磁界との合成磁界である）を徐々に変化させて、初めは面内方向にのみ印加し、徐々に垂直方向に合

成磁界の向きを変化させていくことによって保磁力は小さくなることがわかった。

【 0 0 2 2 】

図 6 において 2 つの磁化曲線には保磁力に差があることは上記の通りであるが、磁化飽和磁界について着目すると大きな差が無いことがわかる。この原因は垂直磁気異方性によって膜面垂直方向に磁化が向こうとする力が働く一方で、印加された磁界の方向すなわち垂直方向に印加された磁界と膜面内方向に印加された磁界の合成磁界の方向に向こうとする力が働くためであると考えられる。単磁区構造をもつ磁性膜では、膜面内方向と膜面垂直方向に磁界を印加することで磁化をほぼ反転させた後、磁界の印加を止めると垂直磁気異方性によって磁化は膜面垂直方向に揃うが、多磁区構造では磁区を形成する可能性があるため磁化は一方向に揃うとは限らない。また、単磁区構造をもつ磁性膜においても、垂直磁気異方性が小さかったり磁化が回転しにくい膜構造や膜形状を持つ等の理由により、磁化が膜面垂直方向に向きにくい場合もある。

【 0 0 2 3 】

つまり磁性体の特性、構造あるいは形状によっては、面内方向に印加した磁界が、反転した磁化が飽和することを阻止するように働くことがある。そこで、磁性膜に膜面内方向と膜面垂直方向に同時に磁界を印加し、磁化をほぼ反転させた後、面内方向の磁界の印加を止めるという方法で磁界を印加する。その結果を図 7 の破線で示す。実線は膜面内方向と膜面垂直方向に同時に磁界を印加し続けた場合である。この図から明らかなように、磁化がほぼ反転した後、面内方向の磁界の印加を中止すると磁化は直ちに飽和する。したがってこの方法によるとより小さな印加磁界で完全な磁化反転が達成される。

【 0 0 2 4 】

また、磁化反転磁界をより小さくする方法として、垂直磁気異方性を有する磁性膜と面内磁気異方性を有する磁性膜の交換結合膜を用いるとより効果的である。図 8 にその磁化曲線を示す。実線は膜面垂直方向にのみ磁界を印加した場合であり、破線は膜面垂直方向と膜面内方向に同時に磁界を印加した場合である。面内磁気異方性を有する磁性膜が交換結合している垂直磁化膜は、見かけ上垂直磁

気異方性が小さくなるので保磁力は小さくなる。さらに面内磁化膜はその磁化が磁界の印加によって比較的容易に回転し、磁化の方向と印加する磁化の方向が $\pi/4$ radの角度をなすときそれに働くトルクは最大値をとるため、上記のような交換結合膜に対して $\pi/4$ radの角度傾けた方向から磁界を印加することによって面内磁化膜の磁化が小さな印加磁界で回転し、これと交換結合している垂直磁化膜の磁化が垂直方向に印加している磁界の方向に容易に反転する。また、垂直磁化膜の磁化がほぼ反転したところで面内方向の磁界の印加を止めることによって、さらに磁化飽和磁界も小さくすることが可能である。この際の磁界の印加方法は膜面内方向と膜面垂直方向に同時に磁界を印加し、両者の強度を同じ、即ち強度比を 1 対 1 とすれば $\pi/4$ 傾けた方向から磁界を印加することが可能となる。またもちろん、 $\pi/4$ 傾けた方向から磁界が印加されるように磁性体を配置しても良いし、その方向から磁界が印加されるように導電線を配置してもよい。

【 0 0 2 5 】

またここでは単層の磁性膜および 2 層交換結合膜についての磁界印加方法を説明したが、本発明の磁化反転方法は 3 層以上の交換結合膜でも有効であり、磁気抵抗効果膜等のように非磁性膜を介して積層された多層膜であっても有効である。磁性膜が多層構造をとっており、磁氣的に結合しているような場合においては、上述したように、磁化反転磁界はより大きくなるので、そのような多層膜構造においてはより効果的に本発明の磁化反転方法を用いることが可能である。

【 0 0 2 6 】

また、磁性膜に印加する磁界は他の磁性体からの浮遊磁界でも良いし、導線に電流を流すことによってつくられる磁界であっても良いが、メモリ素子として用いられる磁気抵抗効果膜に磁界を印加する場合、膜面垂直方向に印加する磁界はその方向を高速に反転させる必要があるので、導線に電流を流すことによって発生する磁界を利用することが好ましい。

【 0 0 2 7 】

【実施例】

以下、本発明の実施例について説明する。

【 0 0 2 8 】

(実施例 1)

図 9 に実施例 1 の磁化反転方法の概念図を示す。磁気抵抗効果膜 30 の上下および左右に電磁石 51 ~ 54 を配置し、膜面垂直方向および膜面内方向にそれぞれ磁界を印加する。上下の電磁石 51 および 52 は 1 つの電源に接続され、同一方向に磁界を発生させる。また、左右の電磁石 53 および 54 についても同様である。図 10 に磁気抵抗効果膜 30 の膜構成を示す。磁気抵抗効果膜 30 は表面が酸化処理された Si ウエハー 10 上に作成されており、20nm の膜厚の $\text{Gd}_{19}\text{Fe}_{81}$ 31、5nm の膜厚の Cu 33、20nm の膜厚の $\text{Tb}_{21}\text{Fe}_{79}$ 34 さらに保護層として 2nm の膜厚の Pt 35 が連続して成膜されている。 $\text{Gd}_{19}\text{Fe}_{81}$ 膜 31 および $\text{Tb}_{21}\text{Fe}_{79}$ 膜 34 はフェリ磁性体であり、どちらも Fe の副格子磁化が優勢である。

【0029】

この磁気抵抗効果膜 30 の膜面垂直方向の磁化曲線を測定したところ $\text{Gd}_{19}\text{Fe}_{81}$ 膜 31 の磁化飽和磁界は 12 kA/m、 $\text{Tb}_{21}\text{Fe}_{79}$ 膜 34 の磁化飽和磁界は 1.4 MA/m であった。この磁気抵抗効果膜 30 の電気抵抗を直列四端子法で測定するための回路 60 が設けられ、電気抵抗の変化によって磁化反転の様子をモニターするようになっている。磁気抵抗効果膜 30 の膜面垂直方向に印加する磁界の大きさは、0 ~ 15 kA/m の範囲で変化させることが可能でかつ磁界の印加方向も反転可能である。膜面内方向に印加する磁界の大きさは 4 kA/m 一定で印加方向も固定している。

【0030】

まず作成した磁気抵抗効果膜 30 に膜面垂直方向に 2 MA/m の磁界を印加し磁性膜の磁化方向を一方向に揃えておく。その後、膜面内方向に 4 kA/m の磁界を印加しながら膜面垂直方向に 0 ~ 15 kA/m の範囲で上下に磁界を印加したところ図 11 に示す磁気抵抗曲線が得られた。 $\text{Tb}_{21}\text{Fe}_{79}$ 膜 34 の磁化飽和磁界は 1.4 MA/m と著しく大きいことから、この磁気抵抗変化は $\text{Gd}_{19}\text{Fe}_{81}$ 膜 31 の磁化反転によるものである。磁化曲線から読み取れる $\text{Gd}_{19}\text{Fe}_{81}$ 膜 31 の磁化飽和磁界が 12 kA/m であったのに対し、磁気抵抗曲線から読み取れる $\text{Gd}_{19}\text{Fe}_{81}$ 膜 31 の磁化飽和磁界は約 9 kA/m であり、膜面内方向に磁界を印加していることにより約 3 kA/m 磁化飽和磁界が低下していることがわかる。

【0031】

したがって、垂直方向のみに磁界を印加した場合に比べて、垂直方向及び膜面内方向同時に磁界を印加した場合の方が低磁界で磁化が飽和することがわかった。

【 0 0 3 2 】

(実施例 2)

図 1 2 に実施例 2 における磁性膜の膜構成を示す。表面が酸化処理された Si ウエハー 10 上に、50nm の膜厚の $\text{Gd}_{21}\text{Fe}_{79}$ 31、1nm の $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 32、5nm の膜厚の Cu 33、20nm の膜厚の $\text{Tb}_{21}\text{Fe}_{79}$ 34 さらに保護層として 2nm の膜厚の Pt 35 が連続して成膜された磁気抵抗効果膜 30 について、実施例 1 と同様に磁気抵抗曲線を測定した。 $\text{Gd}_{21}\text{Fe}_{79}$ 膜 31 はフェリ磁性体で Fe の副格子磁化が優勢である。 $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 膜 32 は面内磁気異方性を有しているが、この膜は $\text{Gd}_{21}\text{Fe}_{79}$ 膜 31 と交換結合していて $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 膜 32 の磁化は零磁場で膜面垂直方向に向いている。この交換結合膜の磁化飽和磁界は、磁化曲線によると 13 kA/m である。

【 0 0 3 3 】

磁気抵抗曲線の測定結果を図 1 3 に示す。ただし、本実施例においては、膜面垂直方向と膜面内方向から磁界を印加し、磁化が反転し飽和に達する前に膜面内方向への磁界の印加を止めている。すなわち、合成磁界としては、まず面内方向への磁界を印加させ、徐々に膜面垂直方向からの印加磁界を大きくしているために、 $\pi/2$ から徐々に変化し、最終的には膜面垂直方向からの磁界のみになるように変化させている。この結果から $\text{Gd}_{20}\text{Fe}_{80}$ 膜 31 と $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 膜 32 の交換結合膜の磁化飽和磁界は 6 kA/m であり、やはり、低磁界において磁化が飽和しているのが分かる。

【 0 0 3 4 】

なお、本実施例においては、磁化容易軸に対して複数の方向、すなわち、膜面垂直方向である第 1 の磁界と膜面内方向である第 2 の磁界を印加し、磁化容易軸方向となす角の大きい方向からの磁界すなわち第 2 の磁界を徐々に小さくすることによって、磁化反転に要する磁界を低減することが可能となった。本実施例においては、特に膜面垂直方向と膜面内方向というなす角度が $\pi/2$ となる方向から両磁界を印加したが、これは特にこの組み合わせに限られるものではない。こ

れは上述したとおり、ある程度磁性膜の磁化が膜面垂直方向に向いた後も、磁化容易軸に対してなす角の大きな磁界によって影響を受ける部分が残ってしまうのを、磁化容易軸に対してなす角の大きな磁界の印加を止めた後に、なす角の小さな磁界をとめることによって解決しているためである。

(実施例 3)

本実施例においては、磁気メモリに利用されている磁性膜の磁化反転方法を示す。図 1 4 に磁気メモリ構造の断面図を示す。また、図 1 5 に本実施例において用いられる磁性膜の膜構造の断面図を示す。表面が約 $1\mu\text{m}$ の深さまで酸化処理された Si ウエハー 10 上に、下部電極として 25nm の $\text{Al}_{50}\text{Cu}_{50}$ 21、検出層として 30nm の膜厚の $\text{Dy}_{19}\text{Fe}_{81}$ 31 および 1nm の $\text{Co}_{50}\text{Fe}_{50}$ 32、 2nm の膜厚の Al_2O_3 33、記録層として 10nm の膜厚の $\text{Dy}_{18}\text{Fe}_{82}$ 34 さらに保護層として 5nm の膜厚の Pt 35 が連続して成膜された磁気抵抗効果膜 30 を作成し、この上部に所望の形状のレジスト膜を形成し、数回のドライエッチングにより磁気抵抗効果膜 30 を複数の素子 (a、b、c) に加工するとともに SiO_2 膜を部分的に $0.5\mu\text{m}$ の深さまでエッチングする。その後、絶縁層として 100nm の膜厚の Al_2O_3 膜 22 と膜面垂直方向の磁界を発生させる配線として $1\mu\text{m}$ の膜厚の Al 膜 23 を連続して成膜し、素子上部に形成されているレジストとさらにその上部に成膜されている Al_2O_3 膜および Al 膜を除去する。次に、露出している Al 膜の表面をプラズマ酸化によって酸化させ Al_2O_3 絶縁膜 24 を形成する。その後、リフトオフ法によって Al 上部電極 25 を形成し、表面を Al_2O_3 絶縁膜 26 で覆う。さらにリフトオフ法によって膜面内方向の磁界を発生させる配線として $0.5\mu\text{m}$ の厚さの Al 線 27 を形成する。このようにして作成した磁気抵抗メモリ素子の断面図を図 1 1 に示す。作成した素子面積は $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ で磁界を発生させるための Al 配線の幅は $1\mu\text{m}$ とした。

【 0 0 3 5 】

磁界を印加するための Al 配線に電流密度 $50\text{mA}/\mu\text{m}^2$ の電流を流すと、素子にはそれぞれ一本の配線から膜面垂直方向に約 $3.5\text{kA}/\text{m}$ の磁界が印加され、膜面内方向には約 $6\text{kA}/\text{m}$ の磁界が印加される。

【 0 0 3 6 】

次に素子 b の磁性膜のみ磁化反転させる手法について説明する。Al 配線 x と y

に逆方向の電流を流し、素子bに対して膜面垂直に同方向の磁界が印加されるようにする。例えばこのとき素子には膜面垂直方向に $2H_n$ の大きさの磁界が印加されているとする。同時にAl配線 α に電流を流し素子bに膜面内方向に大きさ H_i の磁界が印加されるようにする。このようにすると素子b以外には、膜面内方向に H_i の大きさの磁界と膜面垂直方向に $2H_n$ の大きさの磁界が同時に印加されることは無い。したがって、これらの磁界の大きさを適当に選ぶことによって素子bの磁性膜のみ磁化反転させることが可能である。

【 0 0 3 7 】

また本実施例においては、膜面内方向に印加する磁界用の導電線を新たに設けているが、このような磁気メモリの構成をとっている場合においては例えばビット線などの配線と兼用することも可能であり、この際には素子の小型化を図ることができ、また作製プロセスも簡易になるので好ましい。

【 0 0 3 8 】

(実施例 4)

本実施例においては実施例 3 で用いた磁気抵抗効果膜30 (301、302、303、304、305、306、307、308、309) を 3 行 3 列配列したメモリセルに関して示す。図 1 6 にこの電気回路を示す図である。実線は磁気抵抗効果膜の抵抗変化を検出するための回路であり、破線は磁気抵抗効果膜に印加する磁界を発生させるための回路である。また、図 1 7 は 1 つの素子の周辺部分を模式的に示す断面図である。

【 0 0 3 9 】

任意の素子の磁化を選択的に反転させる方法について説明する。ここで、電源 802 によって生じる電流は、磁気抵抗効果膜に対して膜面内方向に印加される磁界を発生させるものであり、電源 803 および電源 804 によって生じる電流は、磁気抵抗効果膜に対して膜面垂直方向に印加される磁界を発生させるものである。例えば、磁気抵抗効果膜 305 の磁化を選択的に反転させる場合について述べる。磁気抵抗効果膜 305 に膜面内方向に磁界を印加するため、トランジスタ 732 を ON にする。図からわかるように、このとき同時に磁気抵抗効果膜 304 および磁気抵抗効果膜 306 にも同じ大きさの磁界が膜面内方向に印加される。さらに、トランジス

タ722をONにし、磁気抵抗効果膜305に膜面垂直方向に磁界を印加する。このとき同時に磁気抵抗効果膜302および磁気抵抗効果膜308にも同じ大きさの磁界が膜面垂直方向に印加される。ただし、磁気抵抗効果膜の磁化をどちらに向けるかによって、膜面垂直方向へ印加する磁界の方向を変える必要がある。これはこの導線に印加する電圧の極性を変えることで達成される。例えば、膜面垂直下方向に磁界を印加する場合、トランジスタ741およびトランジスタ742をONにし、膜面垂直上方向に磁界を印加する場合、トランジスタ751およびトランジスタ752をONにする。上記の動作によって磁気抵抗効果膜305にのみ膜面内方向と膜面垂直方向の両方向に磁界が印加される。この際に、垂直方向に磁界を印加するための導電線の電流値と膜面内方向に磁界を印加するための導電線の電流値とを適宜変化させることによって、任意の方向から任意の強度で磁界を印加することが可能となる。例えば、まず膜面内方向への磁界を印加した後、徐々に垂直方向への磁界の強度を大きくしていくことによって、合成磁界の方向は膜面内、即ち垂直磁化膜の磁化容易軸方向に対して、 $\pi/2$ の方向から、徐々に垂直方向となり最終的に膜面内方向への磁界の印加を止めることによって、垂直方向のみへの磁界が印加される。このように、徐々に合成磁界の方向を変えることによって、スムーズな磁化反転が達成され、結果的に磁化反転磁界を小さくすることが可能となり、これによって、配線に流す電流値を小さくすることが可能となり、磁気メモリの省電力化が可能となる。

【 0 0 4 0 】

磁気抵抗効果膜において非磁性膜の上下に形成した磁性膜の磁化が、一方はその方向が固定され、他方は印加される磁界によって反転可能であるならば、上記の磁界印加方法によって磁化反転が生じるのは磁気抵抗効果膜305のみである。また、素子が保磁力差型の磁気抵抗効果膜であり、保磁力が比較的小さい読み出し層が、膜面垂直方向に印加する磁界のみでも磁化反転可能であるならば、上記動作によって磁気抵抗効果膜305の他に、磁気抵抗効果膜302および磁気抵抗効果膜308も読み出し層の磁化が反転する。ただし、記録層が反転するのは磁気抵抗効果膜305のみである。

【 0 0 4 1 】

このような磁気抵抗効果膜においては、読み出し時の磁界印加は膜面垂直方向のみで良い。さらに、磁気抵抗効果膜の読み出し層の磁化反転に膜面内方向と膜面垂直方向の両方向の磁界印加が必要である場合、磁化反転は磁気抵抗効果膜305でのみ生じるが、読み出し時には、記録層の磁化が反転しないように、電源803および電源804の電圧あるいはさらに電源802は、記録時の電圧よりも小さくし、発生する磁界の大きさを小さくすればよい。

【0042】

次に読み出し時の動作を説明する。例えば、磁気抵抗効果膜305に記録された情報を読み出す場合、トランジスタ712およびトランジスタ705をONにする。すると電源801、固定抵抗300および磁気抵抗効果膜305が直列に接続された回路となる。したがって、電源電圧は固定抵抗300の抵抗値と磁気抵抗効果膜305の抵抗値の割合でそれぞれの抵抗に分圧される。電源電圧は固定されているので磁気抵抗効果膜の抵抗値が変化するとそれにしたがって、磁気抵抗効果膜にかかる電圧は異なる。この電圧値をセンスアンプ900で読み出す。ここで読み出し方法には主に二通り挙げられる。一方は、磁気抵抗効果膜にかかっている電圧値の大きさを検出しその大きさによって情報を識別する方法であり、これを絶対検出という。他方は磁気抵抗効果膜の読み出し層の磁化方向のみ変化させ、そのときに生じる電圧の変化の違いによって情報を識別する方法である。読み出し層の磁化を反転させたとき、電圧値が例えば下がりこれを『1』とするならば、逆に電圧値が上がった場合は『0』である。このような読み出し方法を差動検出という。

【0043】

もちろん本発明の磁化反転方法においてはどちらの読み出し方法を用いても良い。

【0044】

【発明の効果】

上記の様に、本発明の磁化反転方法によると垂直磁気異方性を有する磁化反転磁界を小さくすることが可能であり、該磁化反転方法を磁気抵抗メモリ素子に应用することによって小さな電力でも駆動可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

(a) は磁気抵抗効果膜の磁化が平行な状態を模式的に示す断面図、(b) は磁気抵抗効果膜の磁化が反平行な状態を模式的に示す断面図である。

【図 2】

面内磁化膜を用いた磁気抵抗効果膜における記録再生原理を説明するための図で、(a) および (b) は、記録情報「1」の読み出しを行う場合の磁化の状態を模式的に示す断面図、(c) および (d) は、記録情報「0」の読み出しを行う場合の磁化の状態を模式的に示す断面図である。

【図 3】

垂直磁化膜を用いた磁気抵抗効果膜における記録再生原理を説明するための図で、(a) および (b) は、記録情報「1」の読み出しを行う場合の磁化の状態を模式的に示す断面図、(c) および (d) は、記録情報「0」の読み出しを行う場合の磁化の状態を模式的に示す断面図である。

【図 4】

本発明の磁化反転方法について説明する模式図である。

【図 5】

本発明の磁化反転方法について説明する模式図である。

【図 6】

本発明の磁化反転方法の一例を説明する磁化曲線である。

【図 7】

本発明の磁化反転方法の一例を説明する磁化曲線である。

【図 8】

本発明の磁化反転方法の一例を説明する磁化曲線である。

【図 9】

実施例 1 で用いた装置の構成を示す模式図である。

【図 10】

実施例 1 で用いた磁性膜の構成を示す模式図である。

【図 11】

実施例 1 で測定された磁気抵抗曲線を示す図である。

【図 1 2】

実施例 2 で用いた磁性膜の構成を示す模式図である。

【図 1 3】

実施例 2 で測定された磁気抵抗曲線を示す図である。

【図 1 4】

実施例 3 に記載のメモリ素子を模式的に示す断面図である。

【図 1 5】

実施例 3 で用いた磁性膜の構成を示す模式図である。

【図 1 6】

実施例 4 に記載のメモリの電気回路図である。

【図 1 7】

実施例 4 に記載のメモリの一素子の周辺を模式的に示す断面図である。

【符号の説明】

- 1 0 S i 基板
- 1 1 S i O₂膜
- 2 1 下部電極
- 2 2 A l₂O₃絶縁膜
- 2 3 膜面垂直方向に印加する磁界を発生させるための A l 配線
- 2 4 A l₂O₃絶縁膜
- 2 5 上部電極
- 2 6 A l₂O₃絶縁膜
- 2 7 膜面内方向に磁界を発生させるための A l 配線
- 3 0 磁気抵抗効果膜
- 3 1 垂直磁気異方性を有する磁性膜からなる検出層
- 3 2 面内磁気異方性を有する磁性膜からなる検出層
- 3 3 非磁性膜
- 3 4 垂直磁気異方性を有する磁性膜からなる記録層
- 4 0 磁性膜に磁化容易軸から傾いた方向に印加される磁界
- 4 1 磁性膜に膜面垂直方向に印加される磁界

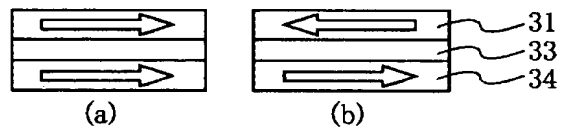
- 4 2 磁性膜に膜面内方向に印加される磁界
- 5 1 磁性膜に膜面垂直方向に印加する磁界を発生させるための電磁石
- 5 2 磁性膜に膜面垂直方向に印加する磁界を発生させるための電磁石
- 5 3 磁性膜に膜面内方向に印加する磁界を発生させるための電磁石
- 5 4 磁性膜に膜面内方向に印加する磁界を発生させるための電磁石
- 6 0 磁性膜の抵抗値を直列四端子法により測定するための回路
- 1 0 1 p 型シリコン基板
- 1 0 2 接地線
- 1 0 3 ローカル配線
- 1 0 4 コンタクトプラグ
- 1 0 5 コンタクトプラグ
- 1 0 6 コンタクトプラグ
- 1 0 7 コンタクトプラグ
- 1 0 8 コンタクトプラグ
- 1 0 9 コンタクトプラグ
- 1 1 0 n 型拡散領域
- 1 1 1 n 型拡散領域
- 2 1 1 ワード線
- 2 1 2 ワード線
- 2 1 3 ワード線
- 2 3 1 膜面垂直方向の磁界を発生させる書き込み線
- 2 3 2 膜面垂直方向の磁界を発生させる書き込み線
- 2 3 3 膜面垂直方向の磁界を発生させる書き込み線
- 2 5 1 ビット線
- 2 5 2 ビット線
- 2 5 3 ビット線
- 2 7 1 膜面内方向の磁界を発生させる書き込み線
- 2 7 2 膜面内方向の磁界を発生させる書き込み線
- 2 7 3 膜面内方向の磁界を発生させる書き込み線

- 3 0 0 固定抵抗
- 3 0 1 磁気抵抗効果膜
- 3 0 2 磁気抵抗効果膜
- 3 0 3 磁気抵抗効果膜
- 3 0 4 磁気抵抗効果膜
- 3 0 5 磁気抵抗効果膜
- 3 0 6 磁気抵抗効果膜
- 3 0 7 磁気抵抗効果膜
- 3 0 8 磁気抵抗効果膜
- 3 0 9 磁気抵抗効果膜
- 7 0 1 トランジスタ
- 7 0 2 トランジスタ
- 7 0 3 トランジスタ
- 7 0 4 トランジスタ
- 7 0 5 トランジスタ
- 7 0 6 トランジスタ
- 7 0 7 トランジスタ
- 7 0 8 トランジスタ
- 7 0 9 トランジスタ
- 7 1 0 トランジスタ
- 7 1 1 トランジスタ
- 7 1 2 トランジスタ
- 7 2 1 トランジスタ
- 7 2 2 トランジスタ
- 7 2 3 トランジスタ
- 7 3 1 トランジスタ
- 7 3 2 トランジスタ
- 7 3 3 トランジスタ
- 7 4 1 トランジスタ

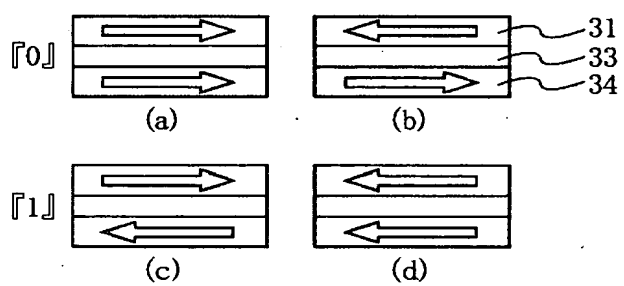
7 4 2 トランジスタ
7 5 1 トランジスタ
7 5 2 トランジスタ
8 0 1 電源
8 0 2 電源
8 0 3 電源
8 0 4 電源
9 0 0 センスアンプ

【書類名】 図面

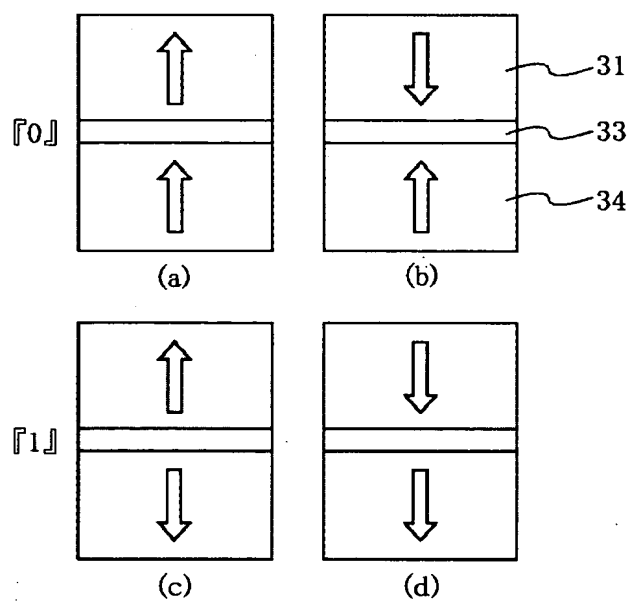
【図 1】



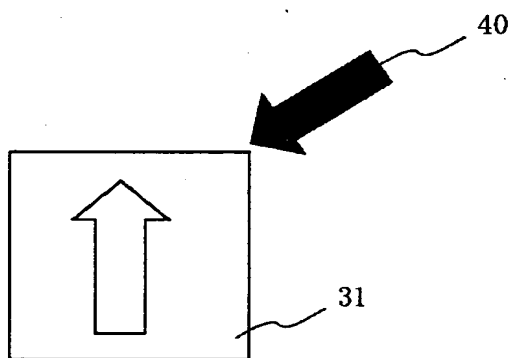
【図 2】



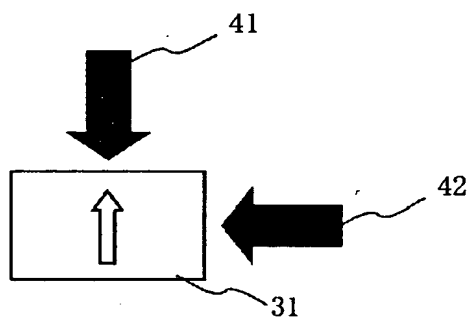
【図 3】



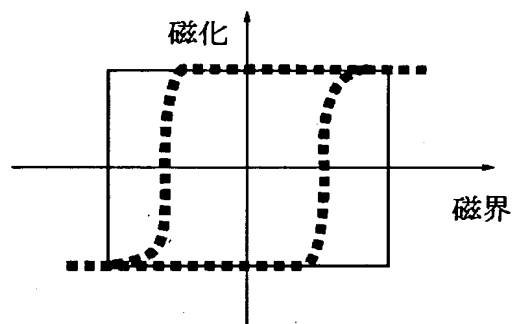
【図 4】



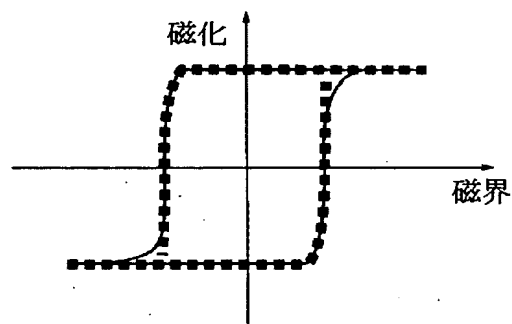
【図 5】



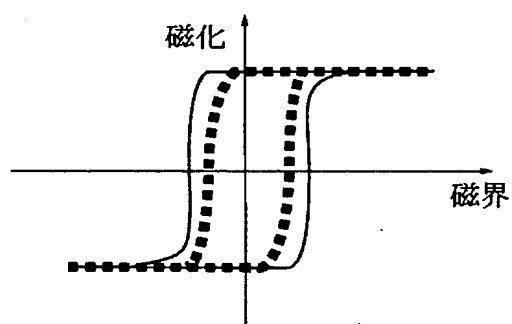
【図 6】



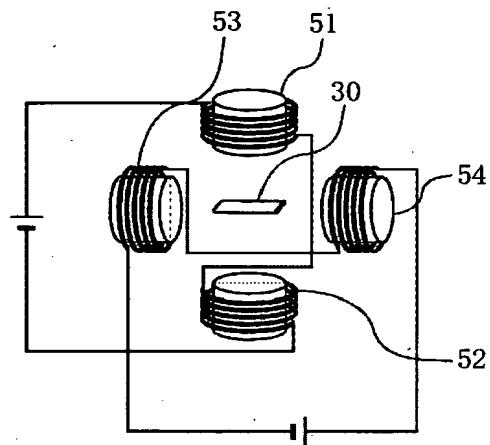
【図7】



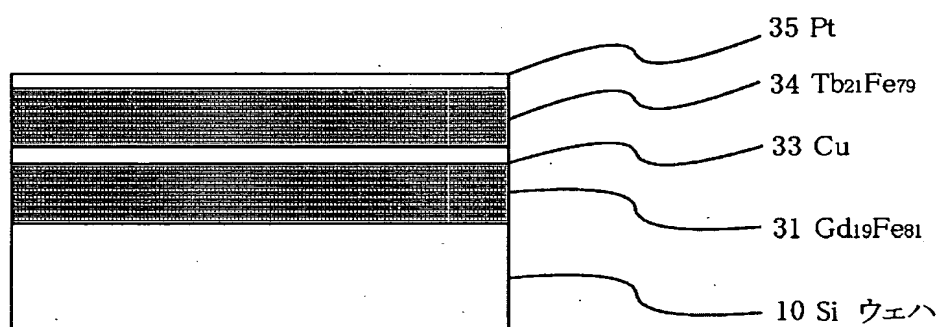
【図8】



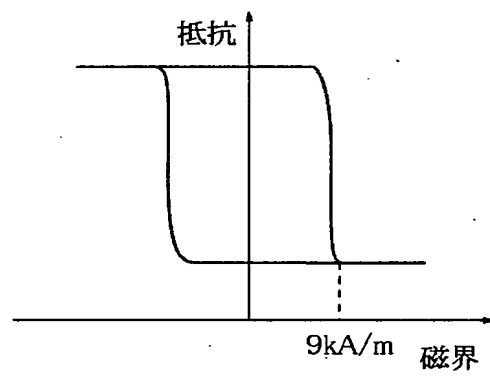
【図 9】



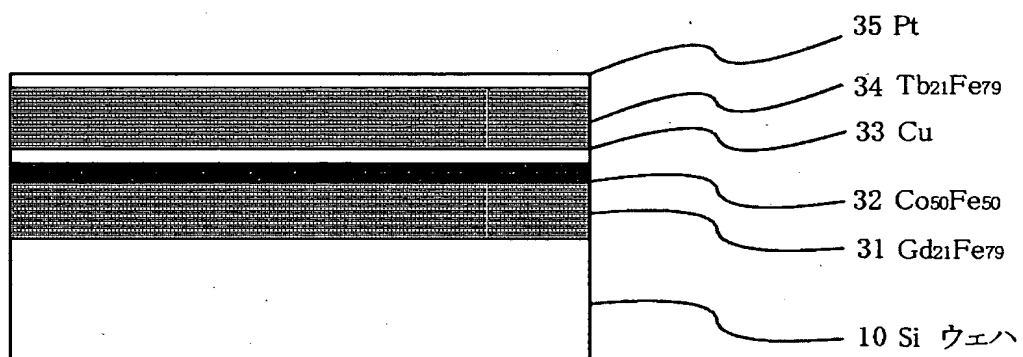
【図 1 0】



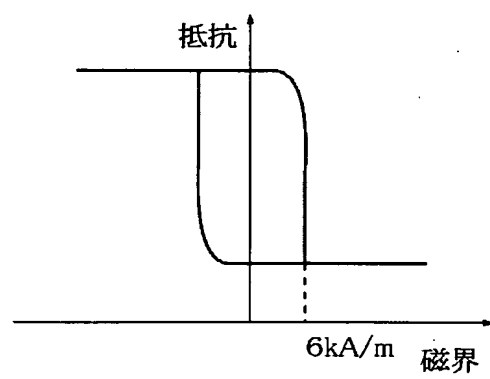
【図 1 1】



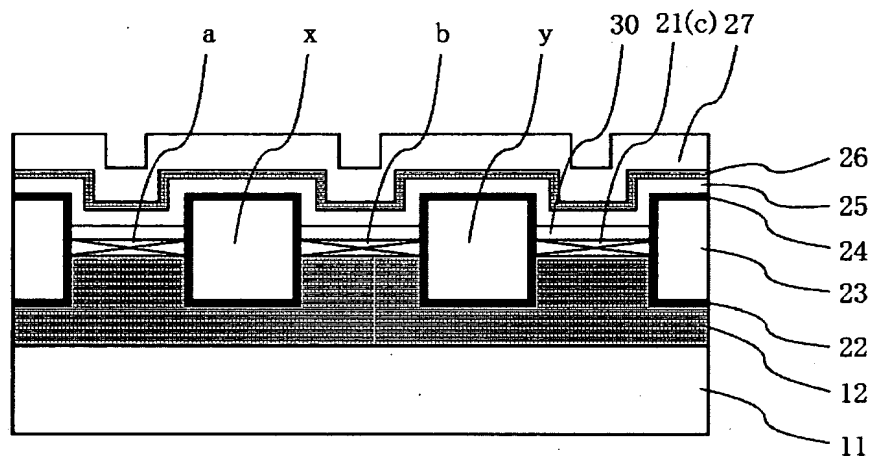
【図 1 2】



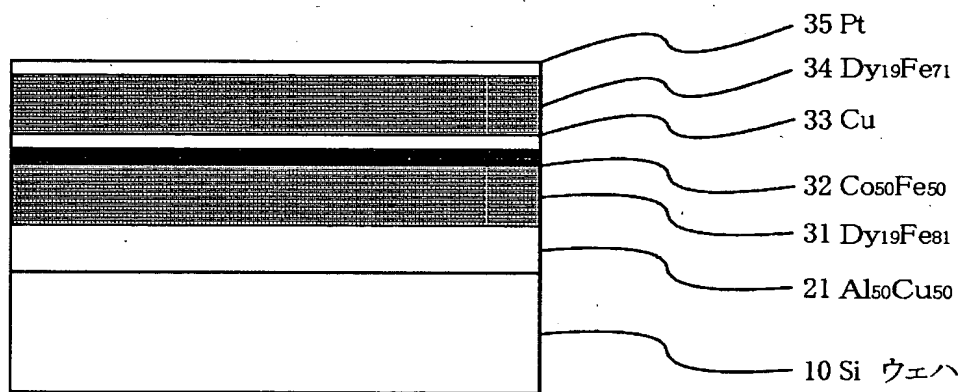
【図 1 3】



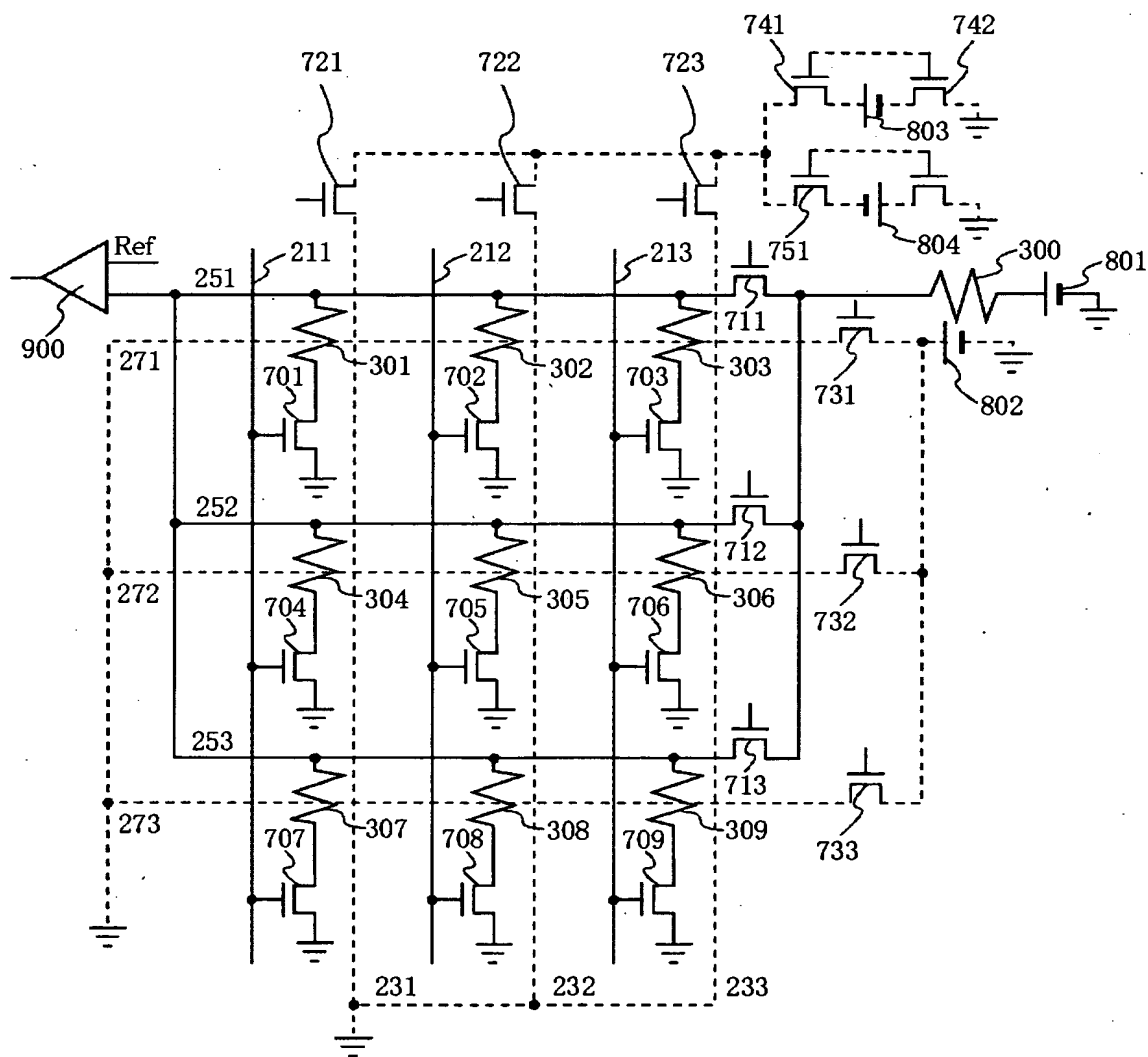
【図 14】



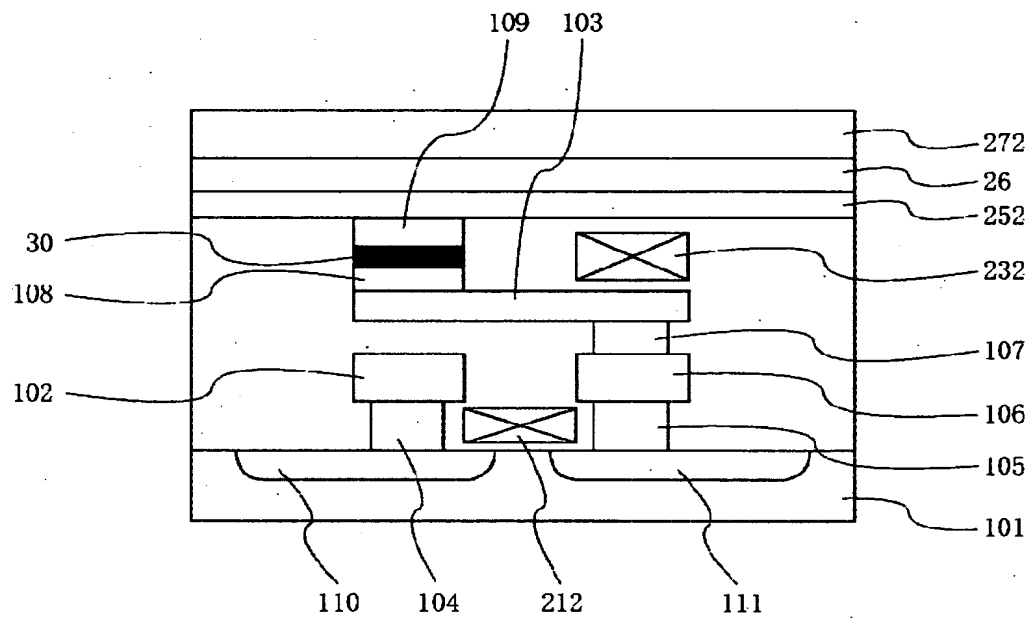
【図 15】



【図 16】



【図 17】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 磁化反転に大きな磁界を有する磁性膜の磁化反転方法において、磁化反転に有する磁界を小さくすることを目的とし、また、この磁化反転方法を用いた磁気メモリの提供を目的とする。

【解決手段】 磁性膜の磁化容易軸に対して傾いた角度から磁界を印加し、磁化反転を行なう。これによって、磁化反転に要する磁界を低減することが可能となると共に特に、この磁化反転方法を用いた磁気抵抗効果メモリの記録に有効となる。

【選択図】 図 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000001007]

1. 変更年月日	1990年 8月30日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都大田区下丸子3丁目30番2号
氏 名	キヤノン株式会社